Aus dem Forschungslabor für Medizinische Akustik und Audiologie
der Hals- Nasen- Ohrenklinik
der Universität Düsseldorf

Die Auswahl geeigneter Dynamikkennlinien für die Hörgeräteanpassung bei Kleinkindern mit Hilfe der Stapediusreflex-Messung

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
David Klemperer

1982

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538105_0066

Aus dem Forschungslabor für Medizinische Akustik und Audiologie
der Hals- Nasen- Ohrenklinik
der Universität Düsseldorf

Die Auswahl geeigneter Dynamikkennlinien für die Hörgeräteanpassung bei Kleinkindern mit Hilfe der Stapediusreflex-Messung

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von
David Klemperer

1982

Gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Brüster

Referent
gez.: Prof. Dr. Esser

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Hammerstein

1. Einleitung

1.1. Problemdarstellung

1.1.1. Die Schwierigkeit der Hörgeräteanpassung beim Kleinkind

1.1.2. Hörfläche und Sprachfläche

1.1.3. Aufgabe des Hörgerätes

1.1.4. Gehörmessung durch Stapediusreflex-Auslösung

1.2. Ziel der vorliegenden Arbeit

2. Methodisches Vorgehen

2.1. Messung der Stapediusreflexe bei Beschallung der Kopfhörer mit oktavbreiten Frequenzbändern aus sprachsimulierendem Rauschen bei Normalhörenden

2.1.1. Versuchsaufbau

2.1.2. Auswahl der Versuchspersonen

2.1.3. Meßvorgang

2.2. Ermittlung der Dynamikkennlinien mit bestem und schlechtestem Sprachverständnis

2.2.1. Versuchsaufbau für die Messungen am Patienten

2.2.2. Auswahl der Patienten

2.2.2.1. Gruppenbildung nach Grad und Art der Hörstörung

2.2.3. Meßvorgang am Patienten

2.2.3.1. Einstellung der Dynamikkompression am HT 20

2.2.3.2. Sukzessives Einpegeln des Frequenzganges (HT 20) und der Endverstärkung (Audiometer) zur "Normalisierung" der Stapediusreflexe

2.2.3.3. Messung der Sprachverständlichkeit

2.2.3.3.1. Der Mainzer Kindersprachtest 3

2.2.3.3.2. Eichung des Tests

2.2.3.3.3. Durchführung des Tests

2.2.4. Versuchsaufbau für die Messungen an der Apparatur im Anschluß an die Patientenmessungen

2.2.4.1 Sprachpegel

2.2.4.2. Dynamikkennlinie

2.2.5. Meßvorgänge an der Apparatur im Anschluß an die Patientenmessungen

2.2.5.1. Sprachpegel

2.2.5.2. Dynamikkennlinie

3. Ergebnisse

3.1. Stapediusreflexschwellen aus den Messungen nach 2.1. (Normalhörende)

3.2. Bestes und schlechtestes Sprachverständnis bei Veränderung der Dynamikompression (Messung nach 2.2.3.3.)

3.3. Wirksame Dynamikkennlinien bei jeweils bestem und schlechtestem Sprachverständnis

3.3.1. Histogrammdarstellung der Einzelergebnisse

3.3.2. Mediankurven

3.4. Impulspegel der Sprache

3.5. Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Dynamikkompression

3.6. Form der Dynamikkennlinien

4. Diskussion

5. Anregungen zu weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten

6. Zusammenfassung

7. Anhang

7.1. Histogramme der Dynamikkompression (vgl. 3.5.)

7.2. Geräte der Beschallungsanlage

8. Literatur

9. Nachwort

10. Lebenslauf

Einleitung

1.1. Problemdarstellung

Je nach Art und Grad der Hörschädigung werden Kinder in ihrer Sprachentwicklung mehr oder weniger gehemmt. Ein Hörgerät hat die Aufgabe, die durch die Hörschädigung bestehenden Schwierigkeiten beim Erlernen der Sprache überwinden zu helfen. Eine möglichst frühe Erkennung einer Hörschädigung und ihr Ausgleich durch ein Hörgerät ist deshalb unbedingt erstrebenswert.

1.1.1 Die Schwierigkeiten der Hörgeräteanpassung bei Kleinkindern

Bei hörgeschädigten Erwachsenen und Kindern, die bereits sprechen gelernt haben und zur aktiven Zusammenarbeit bei der Gehörmessung fähig sind, erfolgt die Auswahl und Anpassung des für sie am besten geeigneten Hörgerätes u.a. durch Ermittlung des Hörverlustes mit der Tonschwellenaudiometrie sowie Messung des Sprachverständnisses mit der Sprachaudiometrie.

Vor dem 5. bis 7. Lebensjahr sind Kinder aber nicht zur aktiven Mitarbeit bei Tonschwellen- und Sprachaudiometrie in der Lage. Es war deshalb notwendig, "objektive", also von der Aussage des Patienten unabhängige Methoden zur Diagnostik und Differenzierung von Hörstörungen sowie zur Auswahl und Einstellung von Hörgeräten zu entwickeln.

1.1.2 Hörfläche und Sprachfläche

Der Hörbereich des Menschen läßt sich in Form eines Diagramms darstellen (Abb. 1). Dazu werden in der Ordinate die Schalldruckpegel und in der Abszisse die Frequenzen aufgetragen, die im Be-

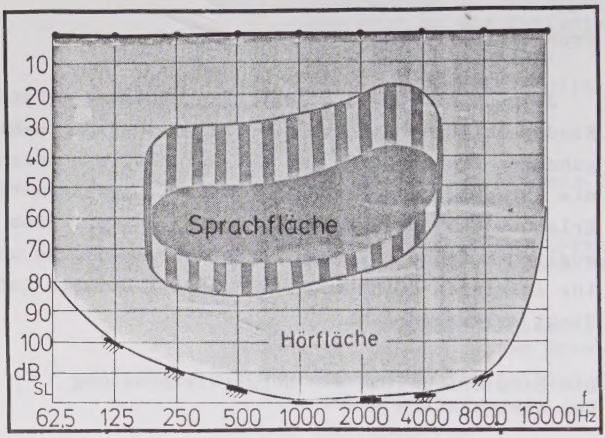


Abb. 1 Hör- und Sprachfläche beim Normalhörenden

reich der Wahrnehmungsfähigkeit des menschlichen Ohres liegen.

Innerhalb des Hörfeldes liegt das Sprachfeld (Abb. 1). Das Sprachfeld umfaßt die Frequenzen und Schalldruckpegel, die bei normaler Unterhaltungssprache aus etwa ein Meter Entfernung auftreten. Die schraffierten Flächen geben zusätzlich den Bereich der leisen und lauten Sprache an und zwar jeweils bis zur halben bzw. doppelten Lautheit.

Eine Hörschädigung bedeutet eine Einengung des Hörfeldes bis in das Sprachfeld hinein und zwar häufig nicht nur im leisen sondern auch im lauten Bereich.

1.1.3. Aufgabe des Hörgerätes

Die Resthörfläche ist beim Schwerhörigen kleiner als die Sprachfläche. Um dem Schwerhörigen ein Sprachverständnis zu ermöglichen, muß deshalb die Sprachfläche so komprimiert werden, daß sie in die Resthörfläche "hineinpaßt".

Ein Hörgerät ist ein Kompressionsverstärker, dessen Aufgabe gerade darin besteht, den Sprachschall so zu verstärken und im lauten Bereich gegebenenfalls zu dämpfen, daß er in die Resthörfläche hineinverstärkt wird. Die Dynamikkennlinie eines Hörgerätes beschreibt dabei die Charakteristik der Dynamikkompression.

1.1.4. Gehörmessung durch Stapediusreflex-Auslösung

Der M. stapedius setzt am Steigbügel an. Er wird vom N. facialis innerviert. Er hat die Eigenschaft, sich reflektorisch bei Schalldruckpegeln zu kontrahieren, die der lauten Sprache entsprechen (Lüscher 1928). Der Reflex ist beidseitig, d.h., bei Beschallung des einen Ohres kontrahiert sich auch der M. stapedius des anderen Ohres.

Der Stapediusreflex ist ein Teil des Regelsystems, welches das Gehör steuert. Der Sinn des Reflexes besteht nach heutigen Kenntnissen darin, die Gehörknöchelchenkette vor Luxation zu schützen und die Dynamik des Gehörs zu verbessern (Borg 1972; Mendelson, Fletcher und Loeb 1963).

Durch seine Kontraktion zieht der M. stapedius den Steigbügel in eine andere Schwingungsebene. Dadurch versteift sich der Steigbügel, was zur Folge hat, daß er in seiner Fähigkeit, Schallenergie zu übertragen, beeinträchtigt wird -die mechanische Impedanz nimmt zu. Die Impedanzänderung wird über Amboß und Hammer auf das Trommel-

fell übertragen und kann im äußeren Gehörgang gemessen werden (Metz 1946). Die Entwicklung der Technik der Impedanzmessung war die Voraussetzung für die Mittelohrmuskel-Reflexaudiometrie (Anderson 1969; Borg 1968, 1972; Deutsch 1972; Djupesland 1962, 1964; Esser und Schunicht 1972, 1974; Metz 1946, 1951, 1952; Thomsen 1955 a, b, c; u.a.)

Bei intaktem Schalleitungsapparat sowie ungeschädigtem Reflexbogen und N. facialis gibt die Stapediusreflexschwelle also Informationen über die Funktion des Gehörs im Bereich der lauten Sprache, ohne daß dazu die aktive Mitarbeit des Patienten erforderlich wäre.

1.2. Ziel der vorliegenden Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, durch sprachaudiometrische Messungen an älteren Kindern optimale Dynamikkennlinien für die verschiedenen Hörstörungsgruppen zu finden. Gelingt dies, so könnte man Kleinkindern "objektiv" durch Zuordnung zu einer Hörstörungsgruppe das geeignete Hörgerät anpassen und wäre damit auf dem Gebiet der Hörgeräteanpassung bei Kleinkindern einen bedeutenden Schritt weiter.

2. Methodisches Vorgehen

Zur Auslösung des Stapediusreflexes ersetzen wir die Sprache durch ein sprachsimulierendes Rauschen, das wir mit Hilfe eines Oktavfilters in oktavbreite Bänder zerlegen. Für vier Mittenfrequenzen (500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz), die den Hauptsprachbereich abdecken, ermitteln wir an einer Gruppe Normalhörender die Normalwerte für die Stapediusreflexschwellen. Bei all unseren Messungen erfolgt die Beschallung über Kopfhörer.

Als Ersatz für das Hörgerät dient uns der Kompressionsverstärker HT 20 der Firma Bosch. Dieses Gerät ermöglicht es, verschiedenste Dynamikkennlinien "herzustellen", was durch Veränderung von Einsatzpunkt und Steilheit der Dynamikkompression geschieht.

Bei einer Gruppe von 49 hörgeschädigten Kindern ermittelten wir sodann die Stapediusreflexschwellen und glichen den Hörverlust so aus, daß die Reflexe so dicht wie möglich an den Normalwerten ausgelöst wurden.

Von dieser Einstellung des HT 20 ausgehend, führten wir eine Sprachverständlichkeitsmessung mit einem Kindersprachtest durch, wobei wir für jede der fünf Wortreihen eine bestimmte Dynamikkennlinie verwendeten.

Die Dynamikkennlinie für das beste und schlechteste Wortverständnis wurde für jedes Kind ermittelt.

2.1. Messung des Stapediusreflexes bei Beschallung über Kopfhörer mit oktavbreiten Frequenzbändern aus sprachsimulierendem Rauschen bei Normalhörenden

2.1.1. Versuchsaufbau

Abb. 2 zeigt die Anordnung der Geräte zur

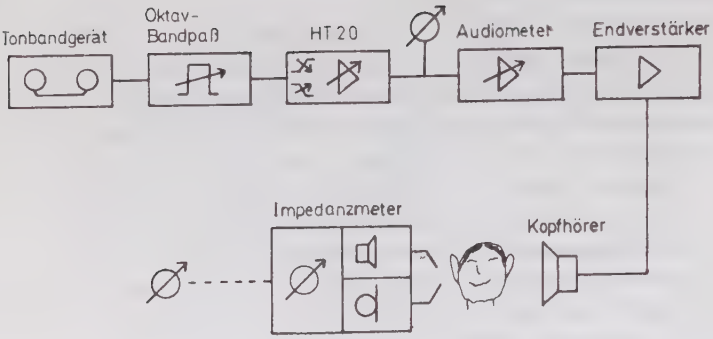


Abb. 2 Geräteanordnung zur Stapediusreflex-Messung

Messung des Stapediusreflexes.

Im Meßraum befindet sich ein Tonbandgerät, über das ein Tonband mit sprachsimulierendem Rauschen abgespielt wird. Das Oktavfilter erlaubt die Filterung der gewünschten Frequenzen. Als Kompressionsverstärker benutzen wir den Hörtrainer HT 20. Über das HT 20 werden Dynamikkompression, Frequenzgang und Grundverstärkung variiert. Das Audiometer dient als Endverstärker. Es hat ein VU-Meter, das es ermöglicht, die Eingangsspannung konstant zu halten. Das endverstärkte Signal wird über einen Kopfhörer auf den Patienten übertragen. Das Impedanzmeter mißt am Gegenohr die Impedanz des Trommelfells. Ein zweites, parallel geschaltetes Anzeigegerät befindet sich im Meßraum.

2.1.2. Auswahl der Versuchspersonen

Die Normalwerte für die Stapediusreflexschwellen ermittelten wir an neun Studenten im Alter von 23 bis 29 Jahren, die folgende Voraussetzungen erfüllen mußten:

1.) Sie durften keine Hörstörung haben.
2.) Die Schalleitungskette mußte intakt sein. Dies wurde durch Tympanometrie überprüft.
3.) Die Stapediusreflexe mußten an beiden Ohren auslösbar sein.
4.) Die Versuchspersonen mußten dazu bereit sein, eine etwa halbstündige Messung ohne Bezahlung über sich ergehen zu lassen.

2.1.3. Meßvorgang

Über das Tonbandgerät wird ein Tonband mit sprachäquivalentem Rauschen abgespielt. Über das Oktavfilter werden die gewünschten Mittfrequenzen (500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz) ausgefiltert. Der Kompressionsverstärker wird so eingestellt, daß er linear verstärkt. Die Klangblenden bleiben in der Einstellung Null.

Zur Eichung des Audiometereingangs wird der Volume-Schalter des Kompressionsverstärkers so eingestellt, daß sich der Zeiger des Spannungsanzeigers am Eingang des Audiometers im grünen Bereich befindet. Dieser Bezugspunkt wird im folgenden als Grünpunkt bezeichnet.

Die Versuchsperson sitzt im Nebenraum und trägt einen Kopfhörer, über den das eine Ohr beschallt wird. Die Schallimpulse haben eine Dauer von 0,5 Sekunden. Die durch Kontraktion des M. stapedius hervorgerufene Zunahme der Impedanz wird im äußeren Gehörgang des anderen Ohres gemessen und am Anzeigegerät im Meßraum als Zeigerausschlag abgelesen.

Die Reflexschwelle wird ermittelt, indem das Ohr mit Schalldruckpegeln beschallt wird, die deutlich über der Reflexschwelle liegen und einen starken

Zeigerausschlag bewirken. In abnehmenden Schritten wird nun der Schalldruckpegel ermittelt und notiert, bei dem gerade noch ein Zeigerausschlag festzustellen ist. Dies ist die Reflexschwelle.

Die Messungen wurden an beiden Ohren durchgeführt.

2.2. Ermittlung der Dynamikkennlinien mit bestem und schlechtestem Sprachverständnis

2.2.1. Versuchsaufbau für die Messung am Patienten

Der Versuchsaufbau für die Messung der Stapediusreflexe am Patienten entspricht dem in 2.1.1. beschriebenen Versuchaufbau.

Dieser Versuchsaufbau gilt auch für die Sprachverständnismessung. Das Oktavfilter wird hierbei jedoch auf "Durchgang" gestellt, sodaß keine Filterung stattfindet. Der Sprachtest wird über das Tonbandgerät abgespielt, der Patient hört über einen Kopfhörer.

2.2.2. Auswahl der Patienten

Die Versuche finden im Rahmen der routinemäßigen Kontrolle von Gehör und Hörgeräten von Patienten der Kinderaudiologie statt. Wir untersuchten 49 Kinder und Jugendliche, deren Hörschädigung aus früheren Untersuchungen bekannt war. Das Alter der Patienten ist zufällig, es liegt zwischen 8 und 2o Jahren; nach unten ist es begrenzt durch die Fähigkeit zur Mitarbeit bei einem Sprachtest, nach oben durch die räumliche Trennung von Kinderaudiologie und Erwachsenenaudiologie.

2.2.2.1. Gruppenbildung nach Grad und Art der Hörstörung

Esser (1976) hat ein Verfahren entwickelt, mit

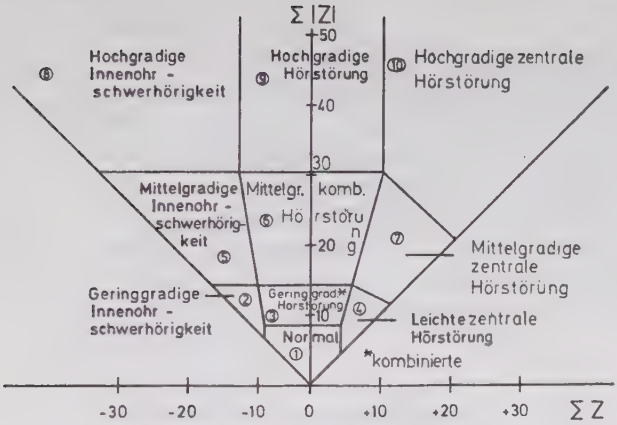


Abb. 3 Diagramm zur Zuordnung in Hörstörungsgruppen

dem man Hörstörungen nach Grad und Lokalisation in zehn Gruppen unterteilen kann. Dem Verfahren liegt die Erkenntnis zugrunde, daß der Abstand der Stapediusreflexschwellen für Sinustöne (Bandbreite 0 Hz) und für schmalbandiges Vertäubungsrauschen (Bandbreite ca. 1 kHz) eine Aussage über Grad und Lokalisation einer Hörstörung erlaubt.

Durch Ermittlung einer Kennzahlsumme wird dabei dem Patienten ein Platz auf einem Diagramm (Abb. 3) zugeordnet. Der Übergang zwischen den Gruppen ist fließend.

Für die Zuordnung unserer Patienten können wir auf die bereits routinemäßig durchgeführten Messungen zurückgreifen. Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Einteilung unserer Patienten. Eine statistisch verwertbare Anzahl von Patienten haben wir nur in den Hörstörungsgruppen 5, 6 und 9. In der Auswertung beschränken wir uns deshalb auf diese drei Gruppen.

		Anzahl der Patienten
1	Normal	-
2	Geringgradige Innenohrschwerhörigkeit	2
3	Geringgradige kombinierte Hörstörung	3
4	Leichte zentrale Hörstörung	-
5	Mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit	13
6	Mittelgradige kombinierte Hörstörung	13
7	Mittelgradige zentrale Hörstörung	1
8	Hochgradige Innenohrschwerhörigkeit	-
9	Hochgradige Hörstörung	17
10	Schwere zentrale Hörstörung	-

Abb. 4 Ergebnis der Einteilung der Patienten in Hörstörungsgruppen

2.2.3. Meßvorgang am Patienten

2.2.3.1. Einstellung der Dynamikkompression am HT 20

Für die fünf Wortreihen benutzen wir fünf unterschiedliche Dynamikkennlinien. Dabei ist jeder Wortreihe eine bestimmte Dynamikkennlinie zugeordnet.

Die Dynamikkennlinien erhalten wir durch unterschiedliche Einstellung des Einsatzpunktes der Dynamikkompression (Schalter AGC_i - automatic gain control) sowie Steilheit der Dynamikkompression (Schalter CR- compression range) am HT 20.

Aus der großen Zahl der möglichen Einstellungen wählten wir fünf aus, die sich in den Eigenschaften AGC_i und CR deutlich unterscheiden.

2.2.3.2. Sukkzessives Einpegeln des Frequenzganges (HT 20) und der Endverstärkung (Audiometer) zur "Normalisierung" der Stapediusreflexe

Der durch Stapediusreflexmessung ermittelte Hörverlust wird folgendermaßen ausgeglichen:

Der Verlust im Bereich der hohen bzw. tiefen Frequenzen wird über die Klangblenden des HT 20 so weit wie möglich korrigiert.
Anschließend wird die Gesamtverstärkung um den erforderlichen Pegel über den Volume-Schalter des Audiometers angehoben. Der Erfolg des Ausgleichs wird durch Auslösung der Stapediusreflexe mit der neuen Einstellung überprüft. Wenn erforderlich, wird die Einstellung noch einmal korrigiert.

Dies hat zum Ergebnis, daß die Stapediusreflexe annähernd bei den Normalwerten ausgelöst werden.

2.2.3.3. Messung der Sprachverständlichkeit

2.2.3.3.1. Der Mainzer Kinder-Sprachtest III

Der Mainzer Kinder-Sprachtest III (Abb. 5) besteht aus fünf Wortreihen zu je 10 Wörtern. Die Wörter sind ein- bis zweisilbig und vokalreich. Er ist geeignet für sechs- bis achtjährige normalhörende Kinder (Gangel 1973). Der zeitliche Abstand zwischen den Worten beträgt fünf Sekunden.

Abb. 5
Mainzer Kinder-Sprachtest III

Sprachtest III

Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV	Gruppe V
Auto	Messer	Gabel	Puppe	Tante
Pferd	Bär	Hund	Hand	Ball
Bücher	Blume	Tasse	Bahn	Sonne
Fisch	Eimer	Haus	Mamma	Tür
Affe	Baum	Katze	Ei	Wasser
Bein	Löffel	Mond	Löwe	Ente
Esel	Kuh	Wasser	Boot	Maus
Uhr	Hase	Tisch	Schere	Vogel
Fliege	Apfel	Nase	Oma	Schuh
Bett	Teller	Seife	Lampe	Kuchen

dB	%	dB	%	dB	%	dB	%	dB	%

2.2.3.3.2. Eichung des Sprachtests

Im Vorspann des Sprachtesttonbandes gibt ein Breitbandrauschen den Durchschnittspegel der Testwörter vor.

Um bei den verschiedenen Dynamikkennlinien die Spannung am Eingang des Audiometers konstant zu halten, wählen wir am HT 20 für jede Dynamikkennlinie die Volume-Einstellung, bei der sich der Zeiger des Spannungsanzeigers am Eingang des Audiometers im grünen Bereich befindet (Grünpunkt).

2.2.3.3.3. Durchführung des Sprachtests

Die Anordnung der Geräte entspricht 2.1.1. Das Oktavfilter wird auf "Durchgang" gestellt, sodaß keine Filterung stattfindet. Die Dynamikkennlinien werden zu jeder Wortreihe über die Schalter AGC_i und CR des Hörtrainers eingestellt.

Ausgehend von einem Sprachpegel von 80 dB SPL korrigieren wir die Einstellung von Sprachpegel und Klangblenden um die in 2.2.3.2. für jedes Kind ermittelten Werte.

Bei Kindern, die auch bei maximaler Lautstärke keine Reflexantwort zeigen, stellen wir die Klangblenden maximal ein, den Sprachpegel stellen wir auf 100 dB und in Extremfällen, bei denen auch mit dieser Einstellung überhaupt kein Wort verstanden wird, auf 110 dB.

Nun wird der Mainzer Kinder-Sprachtest abgespielt, die vom Kind korrekt nachgesprochenen Worte werden auf einem Vordruck notiert.

2.2.4. Versuchsaufbau für die Messungen an der Apparatur im Anschluß an die Patientenmessungen

2.2.4.1. Sprachpegel

Abb. 6 zeigt den Versuchsaufbau zur Messung des Sprachpegels.

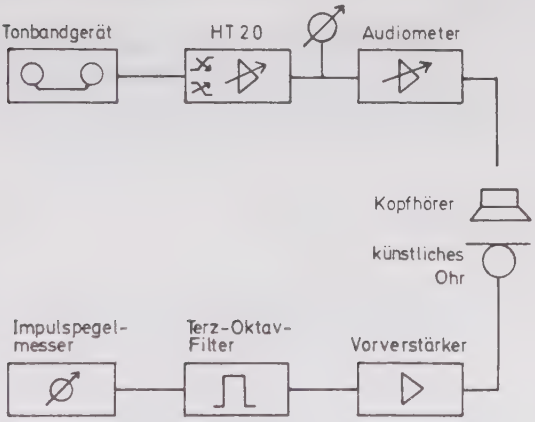


Abb. 6 Geräteanordnung zur Messung des Sprachpegels

2.2.4.2. Dynamikkennlinie

Der Versuchsaufbau zur Messung der Dynamikkennlinie entspricht dem Versuchsaufbau zur Messung des Sprachpegels (Abb. 6), jedoch mit einer Änderung: das Tonbandgerät ist durch einen Generator ersetzt.

2.2.5. Meßvorgänge an der Apparatur im Anschluß an die Patientenmessungen

2.2.5.1. Sprachpegel

Das Sprachtonband wird aufgelegt. Der Volume-Schalter wird für das Breitbandrauschen auf den Grünpunkt eingestellt (vergl. 2.1.3.). Hörtrainer und Audiometer werden in die Einstellung gebracht, mit der der Sprachtest am Patienten durchgeführt worden ist.

Der Impulspegel jedes Wortes wird am Impulsmeßgerät abgelesen und notiert. Für jede Wortreihe wird der Durchschnitt gebildet.

2.2.5.2. Dynamikkennlinien

Die Dynamikkennlinien für die am besten und am schlechtesten verstandenen Wortreihen jedes Patienten werden für einen Sinuston von 1 kHz ermittelt.

Zuerst wird der Schalldruckpegel des Grünpunktes gemessen. Durch Veränderung des Schalldruckpegels über den Generator wird nun für zumeist sechs Schritte von 5 bzw. 10 dB die Dynamikkennlinie gemessen und zwar so, daß die Schallpegel des Hauptsprachbereichs abgedeckt sind.

3. Ergebnisse

3.1. Stapediusreflexschwellen aus den Messungen nach 2.1. (Normalhörende)

Abb. 7 gibt die Verteilung der Stapediusreflexschwellen der Normalhörenden aus 2.1. an.

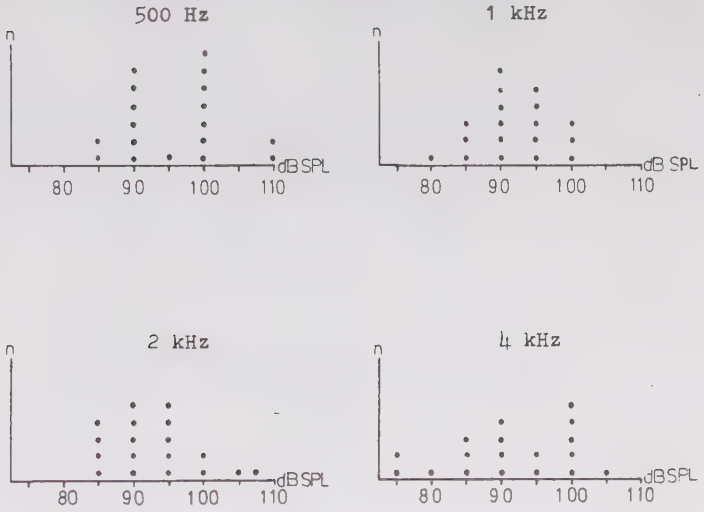


Abb.9 Häufigkeitsverteilung der Stapediusreflexschwellen der Normalhörenden nach 2.1.

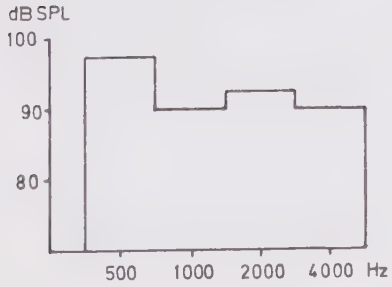


Abb. 8

Diagrammdarstellung der Mediane der Stapediusreflexschwellen von Normalhörenden (nach 2.1.)

Die Mediane der Stapediusreflexschwellen nach 2.1. legten wir als Normalwerte zugrunde:

kHz	0,5	1	2	4
dB SPL	97,5	90	92,5	90

3.2. Bestes und schlechtestes Sprachverständnis bei Veränderung der Dynamikkompression (Messung nach 2.2.3.3.)

Abb. 9 zeigt die Häufigkeitsverteilung des im Mainzer Kinder-Sprachtests erzielten Einzelwortverständnisses und zwar nach Hörstörungsgruppen geordnet für das beste und schlechteste Verständnis.

Abb. 10 gibt das durchschnittlich erreichte Wortverständnis wieder.

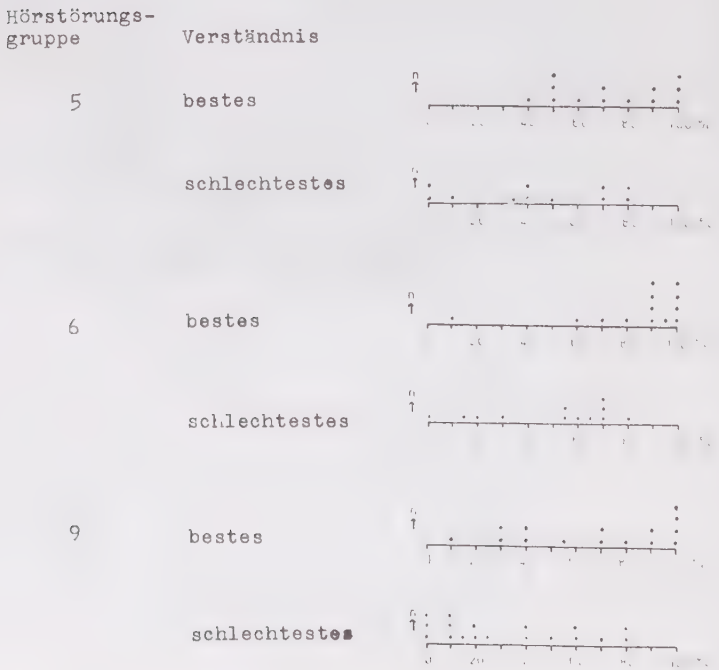


Abb.9

Abb.9 (S.19)
Einzelwortverständnis. Häufigkeitsverteilung. Die Ordinate gibt die Anzahl der Wortgruppen an, die Abszisse den Anteil der richtig verstandenen Wörter. Daß die Anzahl der Wortgruppen größer als die Zahl der Patienten ist, liegt daran, daß einige Patienten mehrer Wortgruppen am besten bzw. schlechtesten verstanden haben.

Hörstörungs-gruppe	bestes Verständnis in %	schlechtestes Verständnis in %
5	74	44
6	84	49
9	63	34

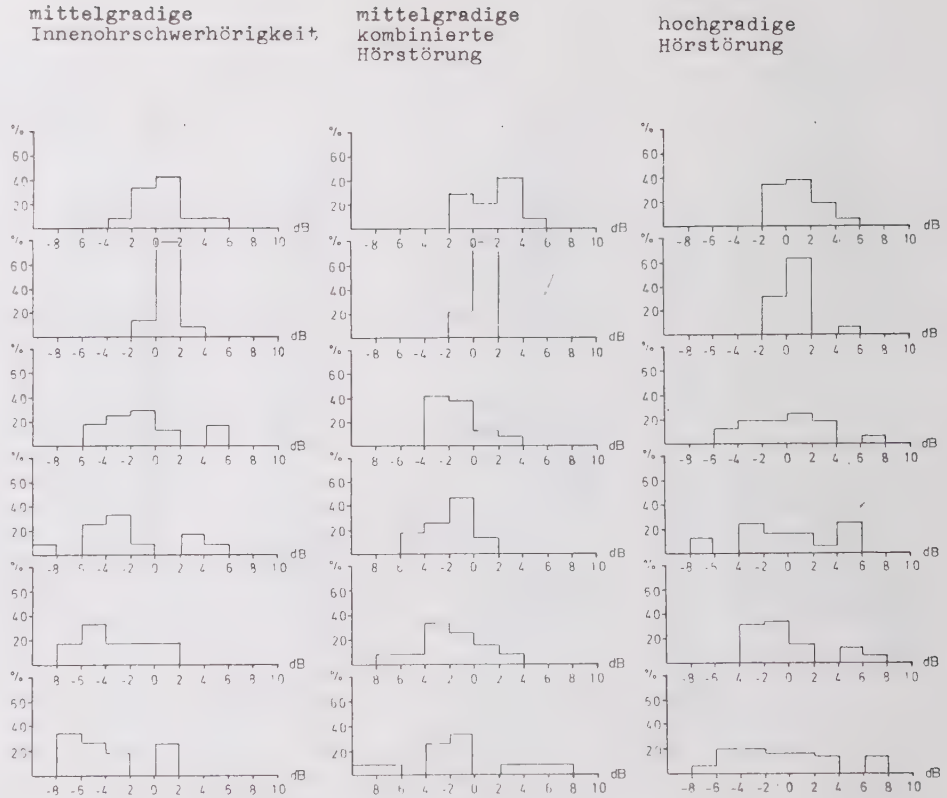
Abb. 10
Durchschnitt des Einzelwortverständnisses in den Hörstörungsgruppen

3.3.1. Histogrammdarstellung der Einzelergebnisse

Für die Abb. 11 haben wir für jeden Patienten die Dynamikkennlinie, die zum besten Sprachverständnis mit der, die zum schlechtesten Sprachverständnis führte, verglichen und für sechs Punkte vom lauten bis zum leisen Bereich die Differenzen der Schalldruckpegel gebildet.

Die Abbildung zeigt nach Hörstörungsgruppen geordnet die Häufigkeitsverteilung der Differenzen. Einen positiven Wert haben wir so definiert, daß das bessere Verständnis mit dem höheren Pegel erzielt wurde, für negative Werte gilt sinngemäß, daß das bessere Verständnis mit dem niedrigen Pegel erzielt wurde.

Abb. 11
Differenzen der Schalldruckpegel, die zum besten bzw. schlechtesten Verständnis führten (Erläuterungen im Text)



3.3.2. Mediankurven

In Abb. 12 sind die Mediane der Dynamikkennlinien für das beste und schlechteste Verständnis gegeneinander aufgetragen, geordnet nach Hörstörungsgruppen.

3.4. Impulspegel der Sprache

Abb. 13 zeigt die Mediane der Impulspegel für die Wortreihen mit bestem und schlechtestem Verständnis.

Die Messung der Impulspegel der Sprache erfolgte, um zu kontrollieren, ob das Vorspannrauschen des Sprachbandes den Impulspegel der Worte korrekt wiedergibt und um eine Kontrolle über den gesamten Versuchsaufbau zu haben.

Da Impulspegel gemessen werden, müssen die Pegel etwa 3 bis 5 dB oberhalb des Grünpunktes liegen, was sie auch tun.

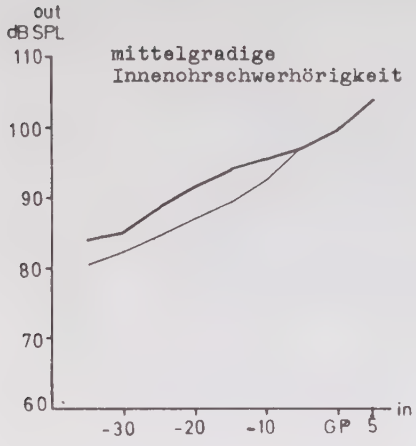
Hörstörungs-gruppe	bestes Verständnis in dB SPL	schlechtestes Verständnis in dB SPL
5	105	107
6	100	99
9	108	109

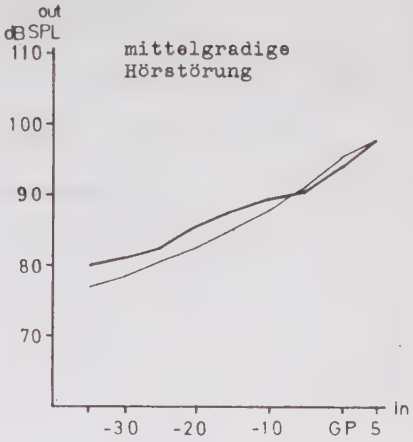
Abb. 13 Mediane der Sprachpegel

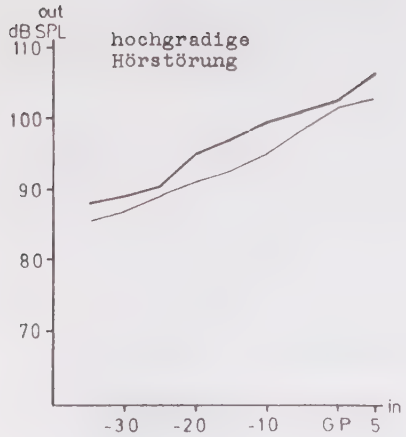
3.5. Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Dynamikkompression

Abb. 16 (s. Anhang) zeigt die Häufigkeitsverteilung der Dynamikkompression für die Dynamikkennlinien, die zum besten bzw. schlechtesten

Abb. 12 Mediane der Dynamikkennlinien für das beste bzw. schlechteste Verständnis







dünne Linie: bestes Verständnis
starke Linie: schlechtestes Verständnis

Verständnis führen und zwar vom Bereich der lauten Sprache (5 dB oberhalb des Grünpunktes) bis zur leisen Sprache (40 dB unterhalb des Grünpunktes).

Es fällt auf, daß bei der hochgradigen Hörstörung anscheinend zwei Populationen auftreten. Dazu ist jedoch zu sagen, daß die Patienten, die ein optimales Verständnis mit hoher Kompression erlangt haben, ausnahmslos mit niedriger Kompression genauso gut verstehen.

Abb. 14 zeigt die Mediane der Dynamikkompression für die Dynamikkennlinien, mit denen das beste bzw. schlechteste Verständnis erzielt wurde.

	mittelgradige Innenohrschädigung		mittelgradige Hörstörung		hochgradige Hörstörung	
Bereich	gut	schlecht	gut	schlecht	gut	schlecht
5 dB ... GP	1,5	1,5	1,3	2	1,3	1,85
GP ... -5 dB	1,25	2	1,3	2	1,3	1,85
GP ... -10 dB	1,25	1,7	1,55	2	1,6	1,7
GP ... -15 dB	1,3	1,8	1,65	2	1,7	1,8
GP ... -20 dB	1,5	2	1,75	2,3	1,95	1,9
GP ... -25 dB	1,55	2,1	1,8	2,3	2	2
GP/-30 dB ... GP/-40 dB	2,7	3,4	3,4	4	2,9	3,4

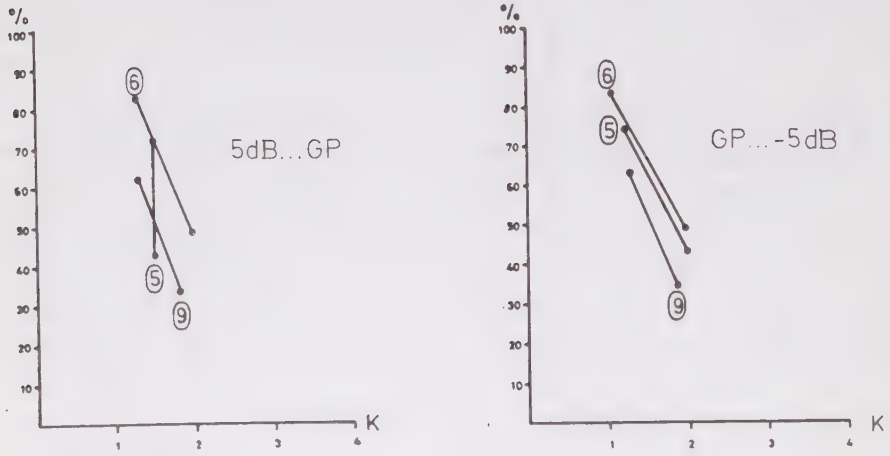
Abb. 14 Mediane der Dynamikkompression

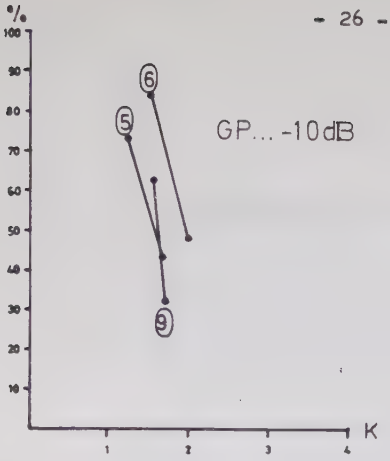
Bei der mittelgradigen Innenohrschwerhörigkeit und der mittelgradigen kombinierten Hörstörung wird das beste Verständnis mit einer geringeren

Dynamikkompression erreicht als das schlechteste Verständnis. Bei der hochgradigen Hörstörung gilt dies für den lauten und sehr leisen Bereich, im übrigen liegen die Mediane dicht beieinander.

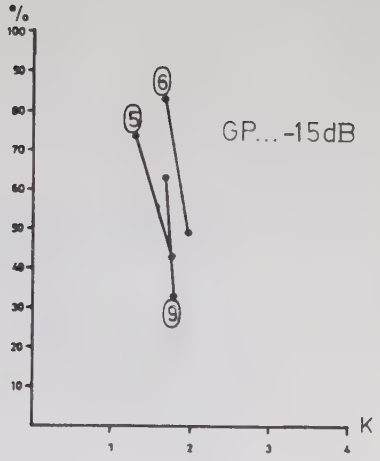
Abb. 15 zeigt das Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Dynamikkompression.

Abb. 15 Dynamikkompression und Sprachverständnis
In der Ordinate ist für jede der drei untersuchten Hörstörungsgruppen das durchschnittlich errreichte Einzelwortverständnis für die beste und schlechteste Dynamikkennlinie aufaufgetragen. Die Abszisse zeigt die dazugehörige Dynamikkompression. Es sind die Bereiche von sehr lauter bis sehr leiser Sprache dargestellt.

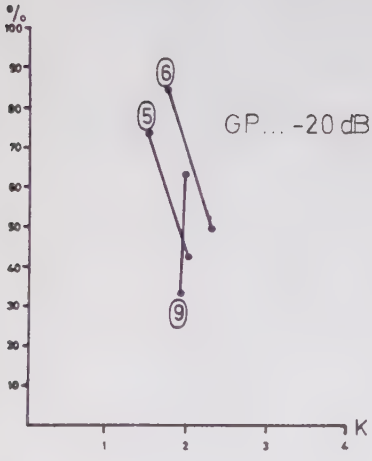




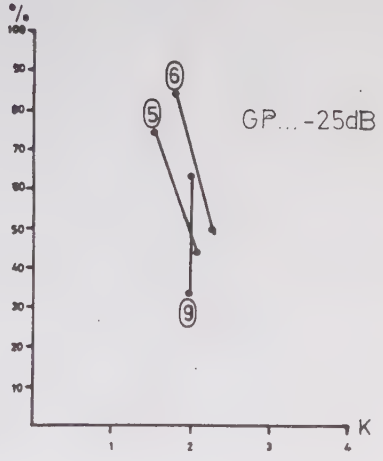
GP... -10dB



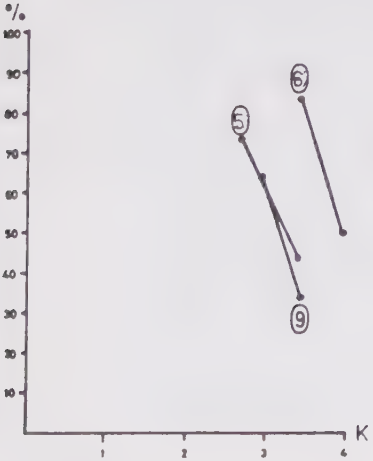
GP... -15dB



GP... -20 dB



GP... -25dB



GP/-30dB...
GP/-40dB

3.6. Sprachverständnis in Abhängigkeit von der Form der Dynamikkennlinie

Eine Untersuchung der Dynamikkennlinien auf ihre Form ergibt, daß es bei der mittelgradigen Hörstörung keine Präferenz für den konkaven oder konvexen Verlauf gibt.

Bei der hochgradigen Hörstörung wird das beste Verständnis bei vorwiegend konkavem Verlauf erzielt, das schlechteste hingegen mit einer konkav-konvex geformten Dynamikkennlinie.

Zu bedenken ist bei dieser Betrachtung jedoch, daß vier der fünf angebotenen Dynamikkennlinien vorwiegend konkav verlaufen.

4. Diskussion

Folgendes können wir festhalten:

1.) Das in unserer Untersuchung erreichte Sprachverständnis ist als gut zu werten (3.2.). 62 % der Patienten mit mittelgradiger kombinierter Hörstörung und 63 % der Patienten mit hochgradiger Hörstörung erreichten mit der besten Dynamikkennlinie ein Einzelwortverständnis von mindestens 70 %. Ein Einzelwortverständnis von 70 % bringt ein Satzverständnis von 100 %. Zu bedenken ist dabei noch, daß unser Ergebnis sich auf das spontane Verständnis auf ein neues Hörgerät bezieht. Im Laufe der Eingewöhnungszeit an ein neues Hörgerät verbessert sich das Verständnis erfahrungsgemäß erheblich.

Die Unterschiede im Sprachverständnis sind für die jeweils beste und schlechteste Dynamikkennlinie erheblich. Der Durchschnitt für die verstandenen Wörter liegt für die optimale Dynamikkennlinie annähernd doppelt so hoch wie für die am wenigsten geeignete. Dies zeigt auf, wie bedeutsam die Ermittlung optimaler Dynamikkennlinien für den Hörgeschädigten ist.

2.) Für den Nutzen eines Hörgerätes kommt es nicht darauf an, eine möglichst große Lautstärke zu übertragen. Dies belegen die Ergebnisse aus 3.3. und 3.4. Ausgehend von einer Stapediusreflex-angepaßten Einstellung des Hörgerätes haben wir die besten Ergebnisse beim Wortverständnis zumeist mit Schalldruckpegeln erreicht, die unter den Schalldruckpegeln liegen, mit denen das schlechteste Ergebnis erzielt wurde.

Dies ist ein Hinweis darauf, daß bei vielen Hörgeschädigten ein Hörverlust nicht nur im

leisen sondern auch im lauten Bereich besteht.

Mehr Schallenergie bedeutet eben nicht zwangsläufig mehr Information - eine für die Auswahl und Anpassung des geeigneten Hörgerätes bedeutsame aber oft nicht erkannte Tatsache.

3.) Die Unterschiede der Schalldruckpegel, die zum besten bzw. schlechtesten Verständnis führen, erscheinen relativ gering (3.3., 3.4.). So betragen die in Abb. 12 dargestellten Unterschiede selten mehr als 5 dB, zumeist sind sie kleiner. Auch Abb. 15 zeigt, daß ziemlich geringe Unterschiede in der Dynamikkompression das Sprachverständnis erheblich beeinflussen. Dabei muß man jedoch bedenken, daß 3 dB bereits eine Verdoppelung der Schallenergie bedeuten und 10 dB eine Verdoppelung der empfundenen Lautheit.

Die Unterschiede im Sprachverständnis, die bereits bei geringen Änderungen der Schallpegel bzw. der Dynamikkompression auftreten, machen deutlich, welch diffizile Angelegenheit die Anpassung und Einstellung eines Hörgerätes besonders beim hörgeschädigten Kleinkind ist. Während ältere Kinder und Erwachsene sich die Lautstärke selbst am Gerät einstellen können, sind Babies und Kleinkinder ganz auf das Wissen und Können des Audiologen angewiesen.

Bei der Häufigkeitsverteilung der Differenzen der jeweils besten und schlechtesten Dynamikkennlinie (Abb. 11) fällt die in vielen Fällen weite Streuung der Werte auf. So kommt es vor, daß ein Teil der Patienten einer Hörstörungsgruppe mit der höheren Verstärkung besser versteht, der andere Teil schlechter. Dies kann ein Hinweis darauf sein, daß die Unterteilung in 10 Hörstörungsgruppen zu grob ist und Unterschiede, die

für die Auswahl des geeigneten Hörgerätes wesentlich sind, nicht erfaßt.

4.) Bei der mittelgradigen Innenohrschwerhörigkeit und bei der mittelgradigen kombinierten Hörstörung wird das beste Verständnis mit einer geringeren Dynamikkompression erreicht als das schlechteste Verständnis (3.3.). Bei der hochgradigen Hörstörung gilt dies nur für den lauten und sehr leisen Bereich; im übrigen liegen die Mediane der Dynamikkompression so dicht beieinander, daß hier andere Faktoren eine Rolle spielen müssen. Einer dieser Faktoren ist möglicherweise die Ein- und Ausschwingzeit des Hörgerätes.

5.) Für die drei von uns untersuchten und ausgewerteten Hörstörungsgruppen gilt, daß im leisen Bereich mit einer geringen Dynamikkompression besser verstanden wird. Drei Erklärungen sind dafür denkbar:

- Eine starke Dynamikkompression engt die Intensitätsbreite der Sprache so weit ein, daß die Intensitätsunterschiedsschwelle des Gehörs unterschritten wird. Dadurch würde die Verständlichkeit der Sprache beeinträchtigt. Das Recruitment-Phänomen bei zentraler Hörstörung könnte wiederum eine Aufhebung der Einengung der Intensitätsbreite bewirken.

- Bei starker Dynamikkompression werden die Nebengeräusche im leisen Bereich so stark angehoben, daß sie die Sprachverständlichkeit stören.

- Bei starker Dynamikkompression wird auch der leise Schall stark angehoben, sodaß das Gehör Schallereignissen von relativ hoher gleichbleibender Intensität ausgesetzt ist.
Dies belastet und ermüdet das Gehör, wodurch das Sprachverständnis leidet.

6.) Die von uns ermittelten Normalwerte für die Stapediusreflexschwellen für sprachsimulierendes Rauschen weichen von den von Rodina (1979) ermittelten um bis zu 12 dB ab.
Dafür gibt es mehrere Erklärungen:
- Während wir unsere Messungen mit Kopfhörern durchführten, hat Rodina mit Lautsprechern im freien Feld beschallt.
- Wir haben die Auslösung des Reflexes an einem Anzeigegerät abgelesen, während Rodina einen Schreiber benutzt hat. Der Schreiber gibt die Messungen empfindlicher wieder. Dies erklärt, warum die Normalwerte unserer Arbeit höher liegen. Die Aussagekraft der Ergebnisse wird dadurch nicht eingeschränkt, denn wir haben alle Messungen an den Patienten mit gleicher Technik vorgenommen.
- Der Stapediusreflex ist kein Alles-oder-Nichts-Reflex. Mit steigender Intensität des auslösenden Reizes verstärkt sich auch bis zu einem Maximum die Reflexantwort. In einem Bereich von ca. 2,5 bis 5 dB ist die Beurteilung der Reflexschwelle Ermessensache - der Untersucher entscheidet darüber, ob der Reflex gerade noch nicht oder gerade schon ausgelöst worden ist. Da aber in der vorliegenden Arbeit alle Untersuchungen vom gleichen Untersucher mit gleicher Subjektivität durchgeführt worden sind, ist auch hier die Aussagekraft des Gesamtergebnisses nicht beeinträchtigt.

7.) Rodina (1979) kam in seiner Arbeit zu folgenden Ergebnissen:
- Innenohrgeschädigte Patienten benötigen eine stärkere Dynamikkompression als Patienten mit kombinierter bzw. zentraler Hörstörung.
- Mit zunehmendem Hörstörungsgrad muß auch die Dynamikkompression zunehmen.

Dies deckt sich nicht mit unseren Ergebnissen

(3.3., 3.5.). Die Erklärung liegt auch hier möglicherweise in den unterschiedlichen Ein- und Ausschwingzeiten der Hörgeräte. So beträgt die Einschwingzeit des in unseren Versuchen benutzten Hörtrainers HT 20 2 ms, die der drei Hörgeräte, die Rodina benutzte 2 ms, 3 ms bzw. 50 ms.

Eine Untersuchung der Bedeutung der Ein- und Ausschwingzeit war im Rahmen unserer Arbeit nicht möglich, die Zahl der Messungen hätte sich vervielfacht, Geduld und Kraft der kleinen Patienten wären sicherlich überstrapaziert worden--Kinder sind eben keine Meerschweinchen.

Auf die eingangs gestellte Frage, ob man den verschiedenen Hörstörungsgruppen optimale Dynamikkennlinien zuordnen kann, können wir zwar einige Anhaltspunkte aber keine endgültige Antwort geben und zwar aus folgenden Gründen:

1.) Die Zahl der untersuchten Patienten war nur in drei der zehn Hörstörungsgruppen groß genug für eine sinnvolle Auswertung.

2.) Die Unterteilung in zehn Hörstörungsgruppen ist wahrscheinlich zu grob, sodaß innerhalb der Hörstörungsgruppen Unterschiede im Hörverlust auftreten, die nur durch unterschiedliche Dynamikkennlinien ausgeglichen werden können.

5. Anregungen zu weiterführenden wissenschaftlichen Arbeiten

1.) Die von uns durchgeführten Untersuchungen müssen auch an einem ausreichend großen Kollektiv von Patienten der sechs von uns nicht ausgewerteten Hörstörungsgruppen durchgeführt werden.

2.) Die Bedeutung der verschiedenen Regelzeiten von Hörgeräten für das Verständnis kann untersucht werden.

3.) Die drei von uns untersuchten und ausgewerteten Hörstörungsgruppen haben im leisen Bereich mit geringerer Dynamikkompression besser verstanden. Um zu ermitteln, ob die Ursache dafür eine zu hohe Ohrbelastung ist, bietet es sich an, Messungen durchzuführen, bei denen die Ohrbelastung über die Stapediusreflexangleichung herabgesetzt wird.

4.) Es müßte untersucht werden, ob eine weitergehende Unterteilung der Hörstörungsgruppen möglich ist.

6. Zusammenfassung

Kleinkinder sind zur aktiven Zusammenarbeit in der Gehörmessung nicht in der Lage Dies macht Auswahl und Anpassung von Hörgeräten beim hörgeschädigten Kleinkind zu einem besonderen Problem.

Die Stapediusreflexmessung ermöglicht es, "objektiv" den Hörverlust im lauten Bereich zu ermitteln. Die vergleichende Stapediusreflex-Audiometrie ermöglicht es darüberhinaus, "objektiv" eine Einteilung in 10 Hörstörungsgruppen vorzunehmen.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht zu klären, ob es für die Hörstörungsgruppen charakteristische Dynamikkennlinien gibt, die ein optimales Verständnis bringen. Gegebenenfalls könnte man auf diesem Weg Kleinkindern nach Ermittlung der Hörstörungsgruppe das bestgeeignete Hörgerät anpassen.

Für 49 Patienten der Kinderaudiologie mit bekannter Hörstörung ermittelten wir die Stapediusreflex-angepaßte Einstellung des Hörgerätes und führten im Anschluß einen Sprachtest mit fünf verschiedenen Dynamikkennlinien durch.

Folgende Ergebnisse konnten wir festhalten:

1.) Die Unterschiede im Sprachverständnis zwischen der besten und schlechtesten Dynamikkennlinie sind erheblich. Der Durchschnitt für die verstandenen Wörter liegt für die beste Dynamikkennlinie doppelt so hoch wie für die am wenigsten geeignete. Dies zeigt, wie wichtig die Ermittlung optimaler Dynamikkennlinien ist.

2.) Die Schalldruckpegel für das beste Wortverständnis liegen in den drei von uns ausgewerteten Hörstörungsgruppen zumeist niedriger als die für das schlechteste Wortverständnis. Relativ geringe Unterschiede im Schalldruckpegel beeinflussen dabei das

Wortverständnis erheblich.

Daran zeigen sich zwei Dinge:
Mehr Schallenergie bedeutet nicht zwangsläufig mehr Information. Die Einstellung von Hörgeräten ist besonders bei Kleinkindern eine sehr diffizile Angelegenheit.

3.) Bei den drei Hörstörungsgruppen wird im leisen Bereich das beste Verständnis mit einer geringeren Dynamikkompression erzielt als das schlechteste Verständnis. Bei der mittelgradigen Innenohrschwerhörigkeit und der mittelgradigen kombinierten Hörstörung gilt dies auch für die übrigen Bereiche, bei der hochgradigen Hörstörung auch für den lauten Bereich.

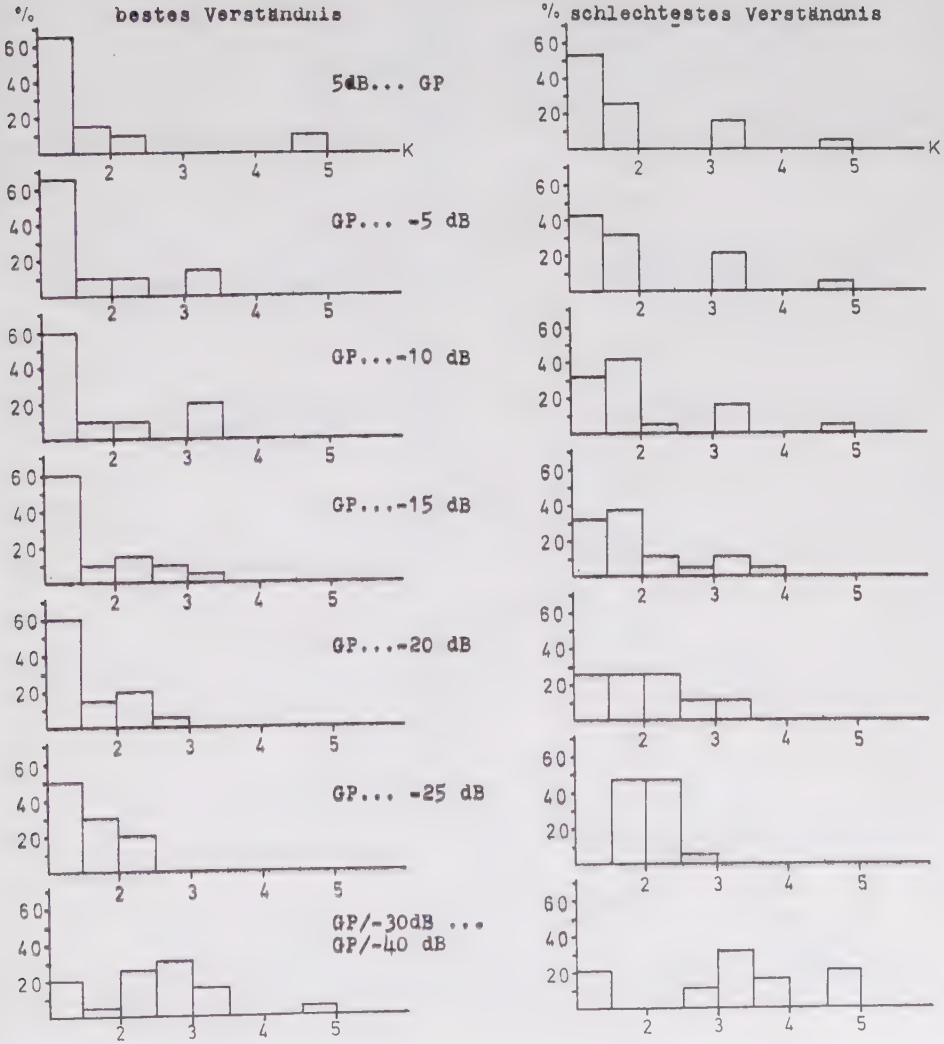
4.) Unterschiede in den Ein- und Ausschwingzeiten der Hörgeräte haben vermutlich eine Auswirkung auf das Sprachverständnis; in der vorliegenden Arbeit konnte dies nicht untersucht werden.

7. Anhang

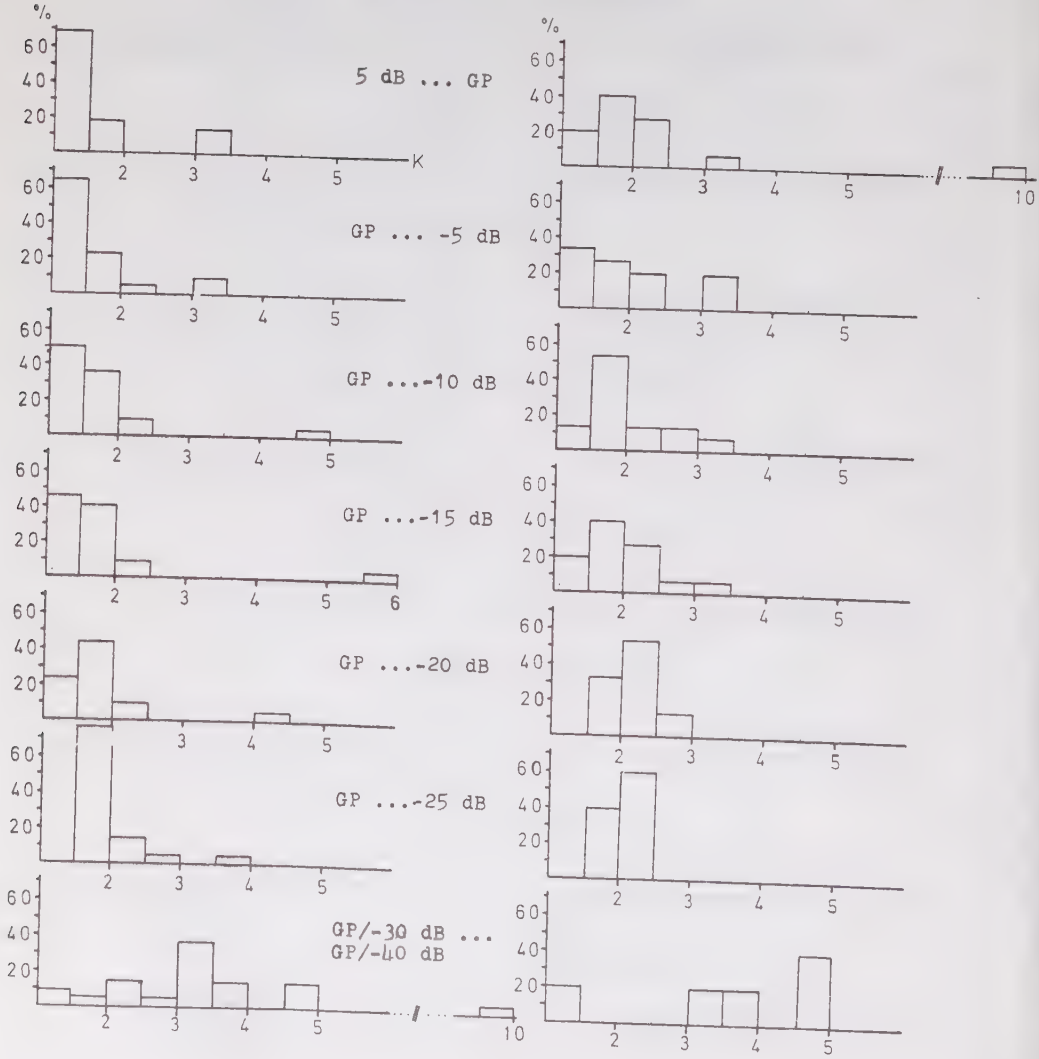
7.1. Histogramme der Dynamikkompression

Abb. 16 Histogramme der Dynamikkompression (vgl.3.5.)

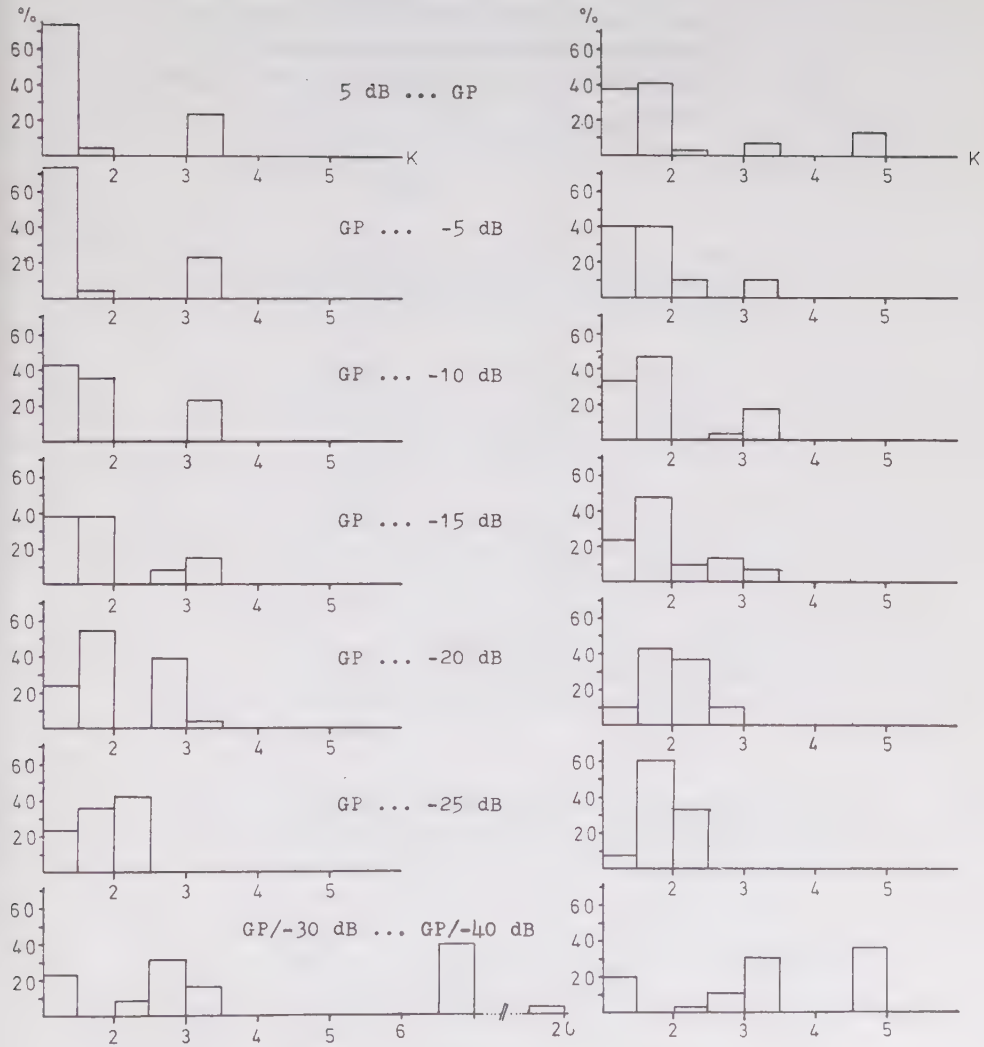
mittelgradige Innenohrschwerhörigkeit



mittelgradige kombinierte Hörstörung



hochgradige Hörstörung



8.2. Geräte der Beschallungsanlage (vgl. Abb. 2)

Tonbandgerät (Revox G 36) + Audiometer (Peters) + Endverstärker = Kombinationsgerät der Firma Phonak, Stuttgart. Oktavbandpaß = OB-1, Wandel & Goltermann, Reutlingen. Zwischenverstärker = Labor-Eigenbau. Impedanzmeter = Model ZO 70, Madsen Electronics. Hörtrainer = HT 20, Bosch, Berlin.

8. Literatur

Anderson, H.: Acoustic intra-aural reflexes in clinical diagnosis, (Z) Thesis (Stockholm) (1969)

Borg, E.: A quantitative study of the effect of the acoustic stapedius reflex on sound transmission through the middle ear of man, Acta oto-laryngoligica (Stockholm) 66, 461-472 (1968)

Acoustic middle ear reflexes: a sensory-control system, Acta oto-laryngologica, supplement 304, 1-34 (1972)

Deutsch, L.J.: The threshold of the stapedius reflex for pure tone and noise stimuli, Acta oto-laryngologica 74, 248-251 (1972)

Djupesland, G.: Intra-aural muscular reflexes elicited by air-current stimulations of the external ear, Acta oto-laryngologica 54, 143-153 (1962)

Middle-ear muscle reflexes elicited by acoustic and nonacoustic stimulation, Acta oto-laryngologica, supplement 188, 287-292 (1964)

Esser, G.: Differenzierung von Schallempfindungsstörungen durch vergleichende Stapedius-Reflex-Audiometrie, Habilitationsschrift, Universität Düsseldorf (1976)

Esser, G., Rodina, H.: Hörgeräteanpassung bei Kleinkindern mit Hilfe der Stapediusreflex-Audiometrie, nicht veröffentlichtes Manuskript, Düsseldorf (1979)

Esser, G. und Schunicht, R.: Objektive Bestimmung der Hörschwelle mit Hilfe der Stapedius-Reflex-Audiometrie, Arch. Klin. exp. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde 202, 477-480 (1972)

Differenzierung von Schallempfindungsstörungen durch vergleichende Stapedius-Reflex-Audiometrie, Arch. Klin. exp. Ohr-, Nase- und Kehlkopfheilkunde 207, 514 (1974)

Gangel, D.: Vergleichende Untersuchungen mit audiometrischen Sprachtests bei Kindern, Dissertation, Universität Mainz (1973)

Lüscher, E.: Die Funktion des Musculus stapedius beim Menschen, Ztschr. Hals-, Nasen- und Ohrenheilk. 23, 105 (1928)

Mendelson, E.S., Fletcher, J.L., Loeb, M.: Noise exposure and individual alterations in middle ear muscle reflex activity, Aerospace Medicine June 1963, 507-513

Metz, O.: The acoustic impedance measured on normal and pathological ears, Acta oto-laryngologica, supplement 63 (1946), bzw. Thesis, Munksgaard, Copenhagen (1946)

Studies on the contraction of the tympanuc muscle as indicated by changes in the impedance of the ear, Acta oto-Laryng. 39, 397-405 (1951)

Threshold of reflex contractions of muscles of middle ear and recruitment loudness, Archives of Otolaryngology 55, 536 (1952)

Thomsen, K.A.: Case of psychogenic deafness demonstrated by measuring of impedance, Acta otolaryng. 45, 82 (1955 a)

Employment of impedance measurements in otologic and otoneurologic diagnostics, Acta oto-laryng. 45, 159-167 (1955 b)

The Metz Recruitment Test and a comparison with the Fowler method, Acta oto-laryng. 45, 544-552 (1955 a)

Nachwort

Ganz herzlich möchte ich mich bei Herrn Esser bedanken, der mir gezeigt hat, daß ein Hochschullehrer auch so sein kann.

Auch bei Frau Schlögell, Frau Hirsekorn und Frau Kubath möchte ich mich bedanken. Über ihre Ratschläge zum Umgang mit den schwerhörigen Kindern und ihre Hilfe und ihr Entgegenkommen bei den Messungen an den Patienten habe ich mich immer wieder sehr gefreut.

Nicht zuletzt gilt mein Dank auch Hella für die Tips in Grafik und Design und ganz besonders für die Kreise in den Abbildungen 2 und 6. Bei Elgin bedanke ich mich fürs Tippen.

Lebenslauf

Name	Klemperer
Vorname	David
Geburtstag	4. Juli 1953
Geburtsort	Berlin
Name des Vaters	Dr. Peter Klemperer
Beruf	Arzt
Name der Mutter	Dr. Inge Klemperer
Beruf	Ärztin
Schulbesuch	1960 Berlin-Friedrichshagen, Grundschule 1961-1964 Evangelische Grundschule, Hildesheim 1964-1972 Scharnhorst-Gymnasium, Hildesheim, Abitur
Zivildienst	1973-1974 Hannoversche Kinderheilanstalt, Abteilung für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Chirurgische Abteilung
Studium	SS 1973-SS 1975 Soziologie an der Technischen Universität Hannover SS 1976-WS 1976/77 Musikwissenschaften an der Universität Bonn SS 1977 Medizin an der Universität Bonn und an der Universität Köln WS 1977/78 - WS 1981/82 Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf